

Beschreibung

Gradientenspulensystem und Verfahren zum Herstellen des Gradientenspulensystems

Die Erfindung betrifft ein Gradientenspulensystem und ein Verfahren zum Herstellen des Gradientenspulensystems.

Die Magnetresonanstechnik ist eine bekannte Technik unter anderem zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines Untersuchungsobjekts. Dabei werden in einem Magnetresonanzgerät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grundfeldmagneten erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfelder überlagert, die von einem Gradientenspulensystem erzeugt werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfrequenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und die ausgelösten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren Basis Magnetresonanzbilder erstellt werden.

Das Gradientenspulensystem besteht in der Regel aus mehreren übereinander liegenden Spulenlagen, wobei die einzelnen Spulenlagen eine komplexe Geometrie aufweisen, in einer Ebene vorgewickelt werden, zusammen mit Isolationslagen übereinander montiert werden und anschließend mit einem wärmehärtenden Gießharz auf Epoxydharzbasis unter Vakuum zum Gradientenspulensystem vergossen werden. Zum Abführen von Verlustwärme werden zusätzliche Lagen aus Kühlschläuchen bzw. Kühlrohren eingelegt, die später im Betrieb von einem Kühlmedium, beispielsweise von Kühlwasser, durchflossen werden. Ferner ist es auch bekannt, zusätzliche Lagen für Shimspulen in das Gradientenspulensystem mit einzubringen. Im Falle eines im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems werden die zuerst eben gefertigten Spulensegmente in Form eines Zylindersegments gebogen und entsprechend in das Gradientenspulensystem mit eingebracht. Bei den vorausgehend beschriebenen Fertigungsverfahren ist insbesondere nachteilig, dass

im Hinblick auf die spätere Montierbarkeit die einzelnen Spulenlagen auf ein im Wesentlichen zweidimensionales Design konstruktiv beschränkt sind. Ferner entsteht ein hoher Fertigungsaufwand für die Montage von ca. neun Spulenlagen mit dazugehörigen Isolations- und Verstärkungslagen. Weiterhin ist die Kontaktierung zwischen den einzelnen Spulenlagen mit bis zu ca. 500 Lötstellen je Gradientenspulensystem sehr aufwändig.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Gradientenspulensystem zu schaffen, bei dem vorgenannte Nachteile vermindert sind.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des Anspruchs 1 und durch das Verfahren nach Anspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Gemäß Anspruch 1 ist bei einem Gradientenspulensystem eines Magnetresonanzgeräts wenigstens ein Teil einer elektrischen Leiteranordnung des Gradientenspulensystems durch Einwirken einer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung, auf ein Metallpulver-Sintermaterial hergestellt.

Gegenüber den bekannten Verfahren werden damit folgende Vorteile erzielt: In einem für das Gradientenspulensystem zur Verfügung stehenden Bauvolumen kann ohne Rücksicht auf fertigungstechnische Erfordernisse ein beliebiger Verlauf der elektrischen Leiter gewählt werden, wodurch bisher als fertigungstechnisch nicht realisierbar eingestufte Designs einfach realisierbar sind. Ein dreidimensionaler Konstruktionsplan des elektrischen Leiterverlaufs des Gradientenspulensystems kann direkt für das Herstellungsverfahren übernommen werden. Jede Änderung des Verlaufs der elektrischen Leiter ist ohne Anpassung von Fertigungsmitteln umsetzbar, wodurch in der Entwicklungsphase u.a. ein Zeitgewinn erzielt wird. Bei der fertig gesinterten Leiteranordnung sind keinerlei Kontaktie-

rungen einzelner Leiter untereinander mehr erforderlich. Der manuelle Montageaufwand ist drastisch reduziert. Da keine Eigenspannungen beispielsweise durch ein Biegen oder Wickeln entstehen, die Verformungen beim Vergussprozess hervorrufen können, wird eine höhere Genauigkeit erzielt.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Figur 1 eine Skizze von Komponenten einer Anlage zum Lasersintern,

Figur 2 Teilspulen und eine Isolationslage mit Kühlschläuchen eines Gradientenspulensystems zusammen mit einer Vergussform für das Gradientenspulensystem, und

Figur 3 einen Querschnitt eines Hohlleiters einer Leiteranordnung des Gradientenspulensystems.

Am Anfang eines Verfahrens zum Herstellen einer Leiteranordnung mittels Lasersintern steht ein dreidimensionaler Konstruktionsplan des gewünschten Verlaufs der elektrischen Leiter des Gradientenspulensystems. Dieser dreidimensionale Konstruktionsplan wird für das Lasersintern derart aufbereitet, dass er in parallele Schichten mit einer Dicke von typischerweise 50 - 100 µm aufgeteilt wird. Der derart aufbereitete Konstruktionsplan wird an eine Lasersinteranlage 10 übergeben, in der auf einer Bauplattform 12 der Lasersinteranlage 10 eine Pulverlage 18 eines ausgewählten Metallpulvers mit hoher elektrischer Leitfähigkeit, insbesondere Kupferpulver oder Aluminiumpulver, entsprechend der Schichtdicke erzeugt wird. Diese Pulverlage 18 repräsentiert dabei eine erste Schicht des Konstruktionsplans, innerhalb derer elektrische Leiter verlaufen, wobei die Lasersinteranlage 10 im Bereich der elektrischen Leiter durch einen Laserstrahl 15 hoher Energie das Metallpulver sintert bzw. verschmelzt. Durch Va-

riation der Prozessparameter wird angestrebt, das Metallpulver möglichst porenfrei zu verschmelzen, um weitestgehend die Eigenschaften des Vollmaterials zu erreichen. Danach wird die Bauplattform 12 um eine Schichtdicke abgesenkt und eine zweite Pulverlage 19 entsprechend der Schichtdicke aufgebracht und auch in dieser Metallpulverlage 19, wie vorausgehend beschrieben, mit dem Laserstrahl 15 gesintert. Übereinanderliegende gesinterte Teilbereiche verbinden sich dabei. Dabei wird das Aufbringen einer Metallpulverlage, das Sintern mit dem Laserstrahl 15 und das Absenken der Bauplattform 12 so oft wiederholt, bis alle Schichten des Konstruktionsplans abgearbeitet sind. Am Ende vorgenannten Herstellungszyklus ist die erzeugte Leiteranordnung komplett von Metallpulver umgeben und die fertige Leiteranordnung aus dem umgebenden Metallpulver zu entnehmen. Näheres zu Verfahren und Vorrichtungen zum Lasersintern ist beispielsweise in der DE 195 14 740 C1, DE 100 53 742 A1, EP 1 234 625 A1 usw. beschrieben.

Die Figur 2 zeigt exemplarisch zwei, auf kegelstumpffartigen Oberflächen angeordnete Teilspulen 21 und 22 einer transversalen Gradientenspule eines Gradientenspulensystems, die durch Lasersintern dadurch erzeugt worden sind, dass nach vorausgehenden beschriebenem Verfahren die Kegelstümpfe in scheibenartige Schichten untergliedert wurden und der den Teilspulen zugrundeliegende Konstruktionsplan Schicht für Schicht abgearbeitet wurde.

Für eine kurze Herstellungszeit ist die Lasersinteranlage 10 in einer Ausführungsform mit mehreren Lasern 14, die gleichzeitig belichten, ausgestattet. Dabei werden Belichtungsstrategien verwendet, die eine möglichst hohe Materialdichte bewirken, d.h., die das Metallpulver lokal vollständig aufschmelzen. Weiterhin werden Belichtungsstrategien verwendet, die Verzugerscheinungen vermeiden.

Falls mit dem vorausgehend beschriebenen Verfahren mehrere Einzelspulen der Leiteranordnung, die innerhalb des Gradientenspulensystems frei von einer elektrischen Verbindung sind, gleichzeitig erzeugt werden, wird zur Verhinderung des grundsätzlichen Problems, dass sich die Einzelspulen bei der Entnahme aus dem Metallpulver gegeneinander verschieben könnten, dadurch entgegengewirkt, dass im Herstellungsverfahren filigrane Stege mitgesintert werden, welche die Einzelspulen miteinander verbinden und nach der Entnahme aus dem Metallpulver aufgrund vorgesehener Sollbruchstellen innerhalb der Stege leicht entfernbar sind. In der Figur 2 ist exemplarisch ein Steg 25 zwischen den Teilspulen dargestellt.

In einer Ausführungsform werden Fixier- und/oder Justierelemente 26 mitgesintert, die beim Einsetzen in eine Vergussform 30 mit entsprechenden Gegenstücken 32 eine selbsttätige Justage der gesinterten Struktur bewirken.

Die dem Metallpulver entnommene Leiteranordnung wird wie folgt weiterverarbeitet: Es werden flächige Isolationslagen zwischen Einzelspulen der Leiterstruktur eingeschoben. Es werden Kühlelemente aus auf einer Trägerplatte mäanderförmig angeordneten Kühlschläuchen zwischen die Einzelspulen eingeschoben. Die Figur 2 zeigt dazu exemplarisch eine der Isolationslagen 28 zusammen mit einem darauf angeordneten Kühlschlauch 29 für die Teilspule 21. Die Leiteranordnung wird inklusive der Isolationslagen und Kühlelemente in die Vergussform 30 eingesetzt. Durch einen Verguss der zwischen der Leiteranordnung verbleibenden Freiräume mit einem vorzugsweise füllstoffhaltigen Gießharz und anschließender Aushärtung wird eine elektrische Isolation und mechanische Fixierung erzielt. Der Verguss mit einem Gießharz auf Epoxydharzbasis erfolgt dabei bevorzugt unter Vakuum und gegebenenfalls mit anschließender Druckbeaufschlagung.

In einer Ausführungsform werden wenigstens Teile der elektrischen Leiteranordnung gemäß Figur 3 als Hohlleiter 23 er-

zeugt, so dass der Holleiter 23 bei Betrieb direkt mit einem ihn durchströmenden Kühlmedium kühlbar ist und gegebenenfalls auf zusätzliche Kühlelemente im Gradientenspulensystem verzichtet werden kann.

Patentansprüche

1. Gradientenspulensystem eines Magnetresonanzgeräts, bei dem wenigstens ein Teil einer elektrischen Leiteranordnung des Gradientenspulensystems durch Einwirken einer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung auf ein Metallpulver-Sintermaterial hergestellt ist.
2. Gradientenspulensystem nach Anspruch 1, wobei das Metallpulver-Sintermaterial ein Kupferpulver oder Aluminiumpulver beinhaltet.
3. Gradientenspulensystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Leiteranordnung, insbesondere zusammen mit Isolations- und/oder Kühleinrichtungen des Gradientenspulensystems, gießharzvergossen ist.
4. Gradientenspulensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Leiteranordnung zum Durchleiten eines Kühlmediums wenigstens teilweise als eine Hohlleiteranordnung ausgebildet ist.
5. Verfahren zum Herstellen eines Gradientenspulensystems nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Leiteranordnung dadurch hergestellt wird, dass das aufeinanderfolgend schichtweise aufgetragene Metallpulver-Sintermaterial je Schicht an den Stellen der Leiteranordnung mittels der Strahlung verfestigt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für die Leiteranordnung ein dreidimensionaler Konstruktionsplan vorgegeben wird, der in die Schichten untergliedert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei zwischen Teilen der Leiteranordnung, insbesondere Teilspulen, die innerhalb des Gradientenspulensystems frei von einer

elektrischen Verbindung sind, wenigstens ein später entfernbare Steg mitgesintert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei wenigstens ein Justierelement mitgesintert wird, das für ein Einsetzen der Leiteranordnung in eine Vergussform mit einem entsprechenden Gegenstück eine selbsttätige Justage bewirkt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Leiteranordnung zusammen mit wenigstens einer Isolations- und/oder Kühleinrichtung vergossen wird.

FIG 1

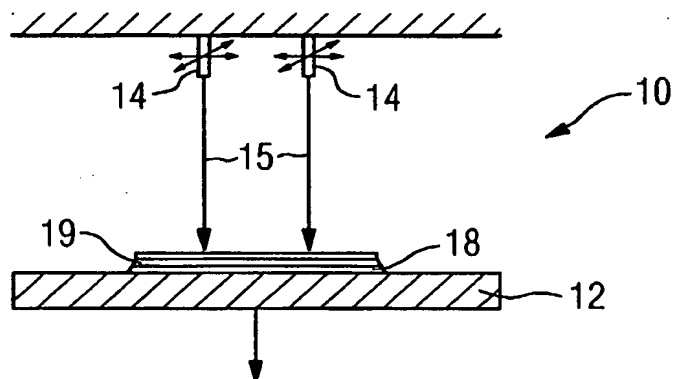
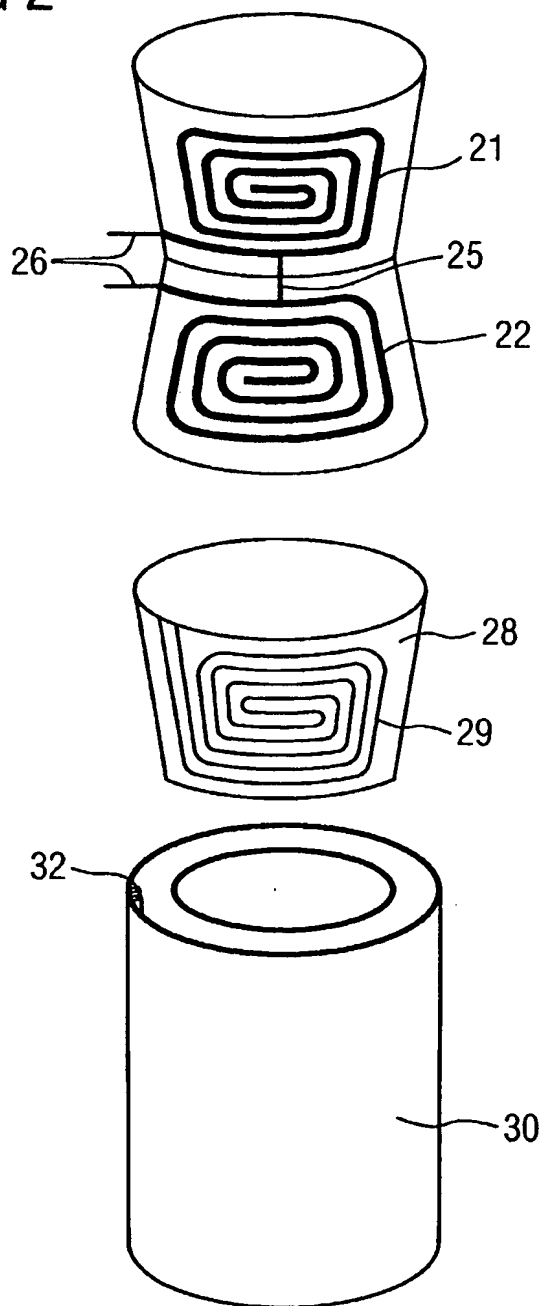


FIG 3



FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050130

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01R33/385

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 148 341 A (GE MEDICAL SYSTEMS GLOBAL TECHNOLOGY COMPANY LLC) 24 October 2001 (2001-10-24) claims 1-6	1-4
A	DE 195 19 933 A1 (SIEMENS AG) 5 December 1996 (1996-12-05) column 2, line 35 - column 6, line 4	1,3-6,9
A	US 4 684 406 A (Y. MATSUURA ET AL.) 4 August 1987 (1987-08-04) column 2, line 7 - line 60 column 5, line 3 - column 7, line 23	1,2,5
A	DE 197 22 211 A1 (SIEMENS AG) 27 August 1998 (1998-08-27) column 1, line 1 - column 4, line 65	1,3-6,9
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 2005

Date of mailing of the international search report

14/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Volmer, W

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050130

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 6 120 620 A (M.G. BENZ ET AL.) 19 September 2000 (2000-09-19) column 2, line 22 - column 4, line 24 column 6, line 38 - column 9, line 52 -----</p>	1,2,5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050130

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1148341	A	24-10-2001	JP 2001299722 A	30-10-2001
			CN 1340720 A	20-03-2002
			EP 1148341 A2	24-10-2001
			US 2001039717 A1	15-11-2001
DE 19519933	A1	05-12-1996	NONE	
US 4684406	A	04-08-1987	JP 1718944 C	14-12-1992
			JP 4004383 B	28-01-1992
			JP 59215460 A	05-12-1984
			JP 1718945 C	14-12-1992
			JP 4004384 B	28-01-1992
			JP 59215466 A	05-12-1984
			JP 1718946 C	14-12-1992
			JP 4004385 B	28-01-1992
			JP 59219452 A	10-12-1984
			JP 1718947 C	14-12-1992
			JP 4004386 B	28-01-1992
			JP 59219453 A	10-12-1984
			CA 1287750 C	20-08-1991
			DE 3378706 D1	19-01-1989
			EP 0126179 A1	28-11-1984
			HK 68590 A	07-09-1990
			SG 49390 G	14-02-1991
			US 4975130 A	04-12-1990
			US 4597938 A	01-07-1986
DE 19722211	A1	27-08-1998	NONE	
US 6120620	A	19-09-2000	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050130

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01R33/385

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 148 341 A (GE MEDICAL SYSTEMS GLOBAL TECHNOLOGY COMPANY LLC) 24. Oktober 2001 (2001-10-24) Ansprüche 1-6	1-4
A	DE 195 19 933 A1 (SIEMENS AG) 5. Dezember 1996 (1996-12-05) Spalte 2, Zeile 35 - Spalte 6, Zeile 4	1,3-6,9
A	US 4 684 406 A (Y. MATSUURA ET AL.) 4. August 1987 (1987-08-04) Spalte 2, Zeile 7 - Zeile 60 Spalte 5, Zeile 3 - Spalte 7, Zeile 23	1,2,5
A	DE 197 22 211 A1 (SIEMENS AG) 27. August 1998 (1998-08-27) Spalte 1, Zeile 1 - Spalte 4, Zeile 65	1,3-6,9
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Mai 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Volmer, W

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050130

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 120 620 A (M.G. BENZ ET AL.) 19. September 2000 (2000-09-19) Spalte 2, Zeile 22 - Spalte 4, Zeile 24 Spalte 6, Zeile 38 - Spalte 9, Zeile 52 -----	1,2,5

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050130

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1148341 A	24-10-2001	JP 2001299722 A	30-10-2001
		CN 1340720 A	20-03-2002
		EP 1148341 A2	24-10-2001
		US 2001039717 A1	15-11-2001
DE 19519933 A1	05-12-1996	KEINE	
US 4684406 A	04-08-1987	JP 1718944 C	14-12-1992
		JP 4004383 B	28-01-1992
		JP 59215460 A	05-12-1984
		JP 1718945 C	14-12-1992
		JP 4004384 B	28-01-1992
		JP 59215466 A	05-12-1984
		JP 1718946 C	14-12-1992
		JP 4004385 B	28-01-1992
		JP 59219452 A	10-12-1984
		JP 1718947 C	14-12-1992
		JP 4004386 B	28-01-1992
		JP 59219453 A	10-12-1984
		CA 1287750 C	20-08-1991
		DE 3378706 D1	19-01-1989
		EP 0126179 A1	28-11-1984
		HK 68590 A	07-09-1990
		SG 49390 G	14-02-1991
		US 4975130 A	04-12-1990
		US 4597938 A	01-07-1986
DE 19722211 A1	27-08-1998	KEINE	
US 6120620 A	19-09-2000	KEINE	